

Analyse de deux balances / pèse-personnes

Thomas Maeder, 8.4.2005

Résumé. Deux modèles de pèse-personne sont examinés, et leur fonctionnement développé. Il semble que le principe de mesure utilisé permettrait dans un cas une mesure de poids élevés avec un capteur de force unique mesurant une force beaucoup plus faible (effet de démultiplication).

Dans l'autre cas, on observe que la force est mesurée par un élément en acier monolithique, sur lequel un pont de mesure en technologie des couches épaisses sur alumine a été collé.

Mots-clefs : capteur de force, balance, pèse-personne, mécanique, démultiplication, rétro-ingénierie, couches épaisses

Table des matières

1. PESE-PERSONNE TERRAILLON	1
1.1. INTRODUCTION	1
1.2. DESCRIPTION	2
<i>Vue globale</i>	2
<i>Capteur</i>	2
<i>Transfert de force</i>	3
1.3. PRINCIPE DE MESURE ET CALCULS	4
1.4. REMARQUES FINALES	5
2. PESE-PERSONNE TEFAL	6

1. Pèse-personne Terraillon

1.1. Introduction

Ce pèse-personne est un modèle relativement ancien (> 10 ans), de marque "Terraillon". On peut supposer que sa plage de mesure va jusqu'à env. 100 kg, ce qui correspond une force de 1'000 N environ.

Nous verrons qu'un système de démultiplication et de regroupement de forces permet non seulement de diminuer cette valeur, mais aussi de regrouper les 4 forces s'exerçant sur les 4 supports du plateau de charge en un seul point. On peut ainsi réaliser la mesure de la force totale avec un seul capteur (une simple poutre en flexion), et cette mesure est nominalement (aux tolérances et frictions près) indépendante de la position de la personne sur le plateau de mesure.

On peut envisager d'utiliser une mécanique similaire, en plus petit, pour des applications de télégestion de stocks.

1.2. Description

Vue globale

Une photo du pèse-personne ouvert est donnée à la Figure 1. On remarque au centre le capteur (simple poutre cantilever), et les barres servant à démultiplier le poids et le rassembler sur le capteur.

Les fils allant dans le plateau sont connectés à un bouton servant à activer la balance lorsqu'on pèse sur le plateau.



Figure 1. Vue générale de l'intérieur du pèse-personne (gauche), de l'électronique (centre) et de la partie inférieure comprenant le mécanisme de transfert des forces & le capteur (droite).

Capteur

Le capteur (Figure 2) est une simple lame d'acier, de section 18×2 mm, sur laquelle est collée une jauge de déformation en silicium (Figure 3). La longueur effective du bras de levier entre le point d'application de la force à l'extrémité et le début de la zone soutenue (Figure 2, centre, ligne inférieure) est environ 60 mm. La longueur du bras de levier pour la mesure est quant à elle environ 40 mm.

Le capteur et son assemblage sur l'embase peuvent sembler faibles. Nous verrons cependant que ce n'est pas le cas, en raison de la très forte démultiplication de la force.

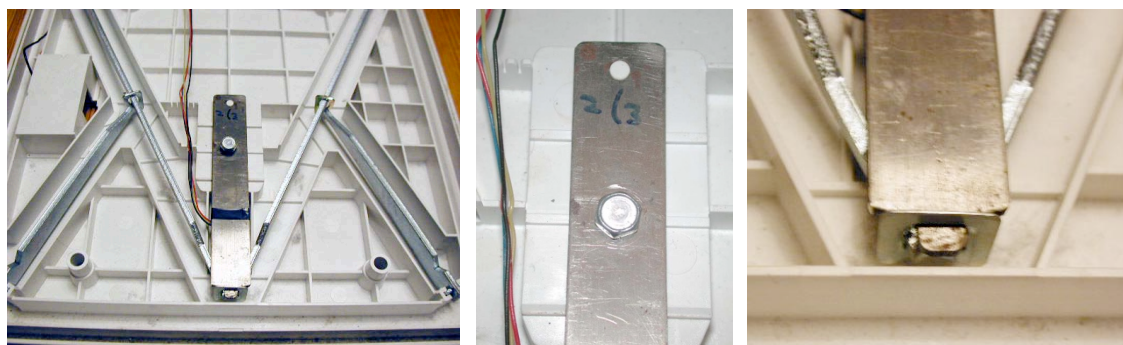


Figure 2. Capteur de force : disposition (gauche), fixation sur l'embase (centre) et liaison avec la mécanique de démultiplication et transfert de l'effort (droite).

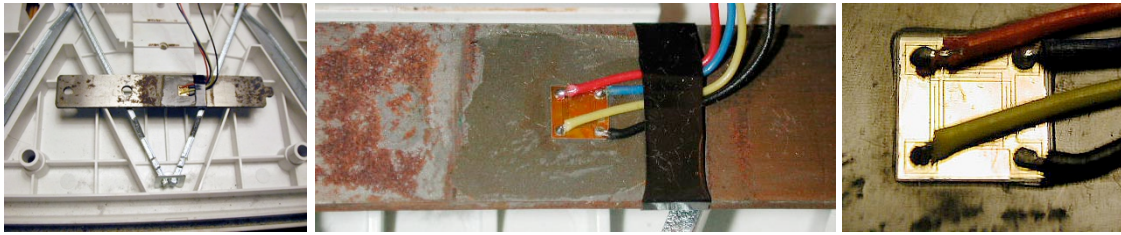


Figure 3. Jauge de déformation : vue générale de la face inférieure du capteur (gauche), montage de la jauge (centre) et vue détaillée de la jauge (droite).

Transfert de force

Le plateau du pèse-personne est soutenu en ses 4 coins. La démultiplication et le transfert de force du poids s'appliquant sur le plateau au capteur sont assurés par un mécanisme de barres (voir figures précédentes), montré à la Figure 4. Ce mécanisme permet aussi de réunir les 4 forces en une seule, ce qui permet la mesure avec un seul capteur.

Les coins du plateau sont soutenus par des cavaliers (Figure 5), qui viennent se positionner dans des encoches faites dans les barres. Le point de rotation des barres (goupilles = axes, logées dans l'embase) est très proche des encoches, ce qui donne une démultiplication élevée : la force exercée sur le capteur est beaucoup plus faible que le poids à mesurer. Les distances déterminantes sont celle entre les encoches et les axes ($a = 12 \text{ mm}$) et celle entre les axes et le capteur ($b = 240 \text{ mm}$).

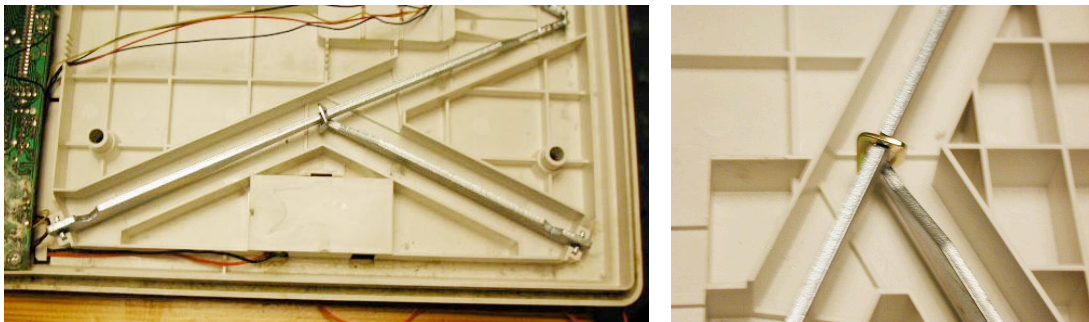


Figure 4. Mécanisme de transfert & démultiplication de force : une moitié (gauche), et détail de la liaison par cavalier entre les demi-barres courtes (côté capteur) et longues (côté opposé).

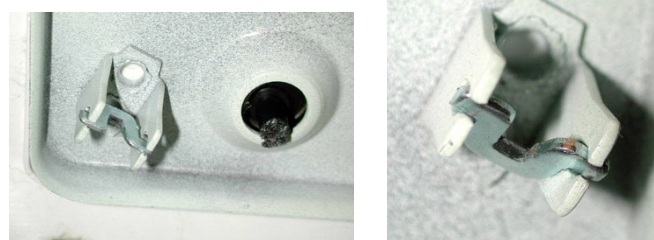


Figure 5. Supports du plateau du pèse-personne, par cavaliers.

1.3. Principe de mesure et calculs

La difficulté de la mesure du poids sur un plateau réside dans la répartition aléatoire de la charge – il faut donc assurer que la mesure soit indépendante de cette répartition. Sur la balance étudiée ici, le plateau est soutenu en 4 points (les coins), et un mécanisme permet cette de démultiplier les forces apparaissant sur ces 4 supports, tout en les rassemblant en un seul point, de sorte à pouvoir réaliser la mesure avec un seul capteur.

Un schéma du mécanisme est donné à la Figure 6. Les cercles correspondent à des rotules, c'est-à-dire que la force est transmise, mais la rotation est libre.

La force F à mesurer, appliquée sur le plateau, est transmise au mécanisme de mesure via les 4 supports du plateau, donnant les forces F_1 à F_4 .

$$F = \sum_{i=1}^4 F_i$$

Pour les supports situés du côté opposé au capteur (en haut sur le schéma), une force F_i est transmise via les barres longues, et apporte une contribution $F_{\text{capteur},i}$ à la force F_{capteur} exercée sur le capteur qui correspond à un simple effet de levier.

$$F_{\text{capteur},i} = \frac{a}{b} F_i$$

On obtient la même contribution pour les supports situés du même côté que le capteur (en bas sur le schéma), mais indirectement.

$$F_{\text{capteur},i} = \frac{a}{b/2} \cdot \frac{1}{2} F_i = \frac{a}{b} F$$

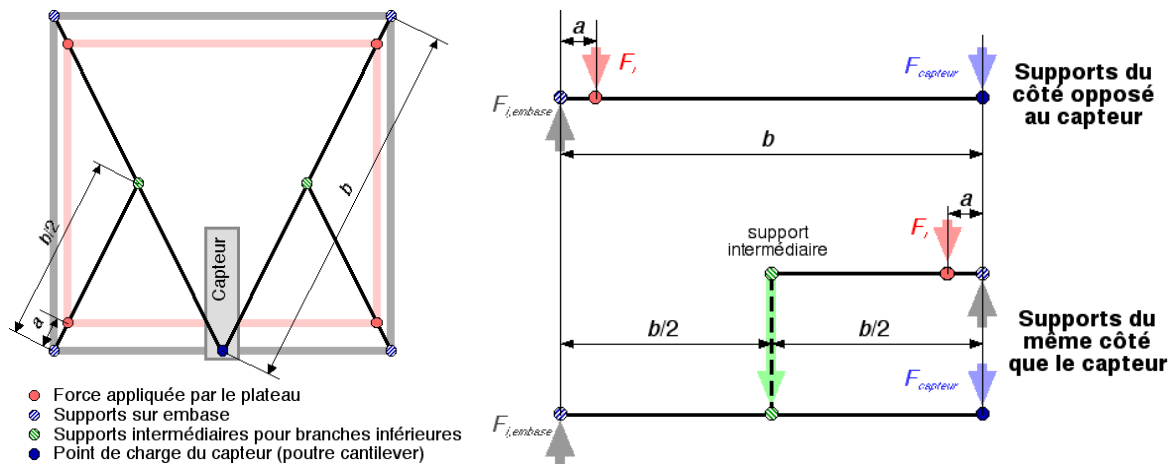


Figure 6. Principe de mesure de la force : disposition schématisée (gauche), et détail du transfert de force (droite).

La démultiplication de toutes les forces étant égale à a / b , la force exercée sur le capteur est indépendante du point de charge sur le plateau.

$$F_{\text{capteur}} = \sum_{i=1}^4 \frac{a}{b} F_i = \frac{a}{b} F$$

Les données sur ce pèse-personne sont rassemblées au Tableau 1. Le facteur de transfert entre le poids et la force sur le capteur est de $1 / 20$.

Symbole	Description	Valeur	
F	Poids à mesurer	$\leq 1'000$	N
F_{capteur}	Force sur capteur	≤ 50	N
a	Bras de levier F_i	12	mm
b	Bras de levier F_{capteur}	240	mm
$a / b = F_{\text{capteur}} / F$	Facteur de transfert du poids	0.05	
l_{capteur}	Longueur effective du cantilever	60	mm
b_{capteur}	Largeur du cantilever	18	mm
h_{capteur}	Epaisseur du cantilever	2	mm
σ_{capteur}	Contrainte nominale dans le cantilever	250	MPa

Tableau 1. Résumé des paramètres du pèse-personne Terraillon.

1.4. Remarques finales

- Le mécanisme utilisé dans le pèse-personne décrit ici permet une mesure relativement simple et précise d'un poids, indépendamment de sa position.
- La précision escomptée est largement suffisante pour des applications dans le domaine de la logistique. Il serait donc tentant d'adapter un tel mécanisme pour mesurer des poids de bacs avec des capteurs du genre MilliNewton.
- Ce mécanisme offre en outre une démultiplication élevée ; il est possible de mesurer des poids relativement élevés avec des capteurs pour charges faibles, ce qui renforce l'attractivité d'un capteur de type MilliNewton pour cette d'application.
- Le système de barres d'acier pourrait être remplacé par une pièce unique, par exemple en plastique injecté, où une partie des "rotules" seraient réalisées par des affaiblissements^{1 2}.

¹ S. Henein, Conception des structures articulées à guidages flexibles de haute précision, Thèse No 2194, EPFL, 2000, <http://infoscience.epfl.ch/record/32670>

² Y.K. Yong, T.-F. Lu, D.C. Handley, Review of circular flexure hinge design equations and derivation of empirical formulations, Precision Engineering. 32 (2008) 63–70, <http://dx.doi.org/10.1016/j.precisioneng.2007.05.002>

2. Pèse-personne Tefal

Ce modèle de balance (marque Tefal, Figure 7) semble un peu plus récent que le précédent (Terraillon). Ici, le plateau supérieur est soutenu par un élément élastique monolithique en acier (Figure 7D), en dessous duquel un pont de mesure piézorésistif en technologie des couches épaisses sur céramique est collé (Figure 8). On suppose que le pont de mesure est en alumine pour des raisons de coût, malgré la mauvaise adéquation de l'alumine pour cette application (haut module élastique et faible dilatation thermique).

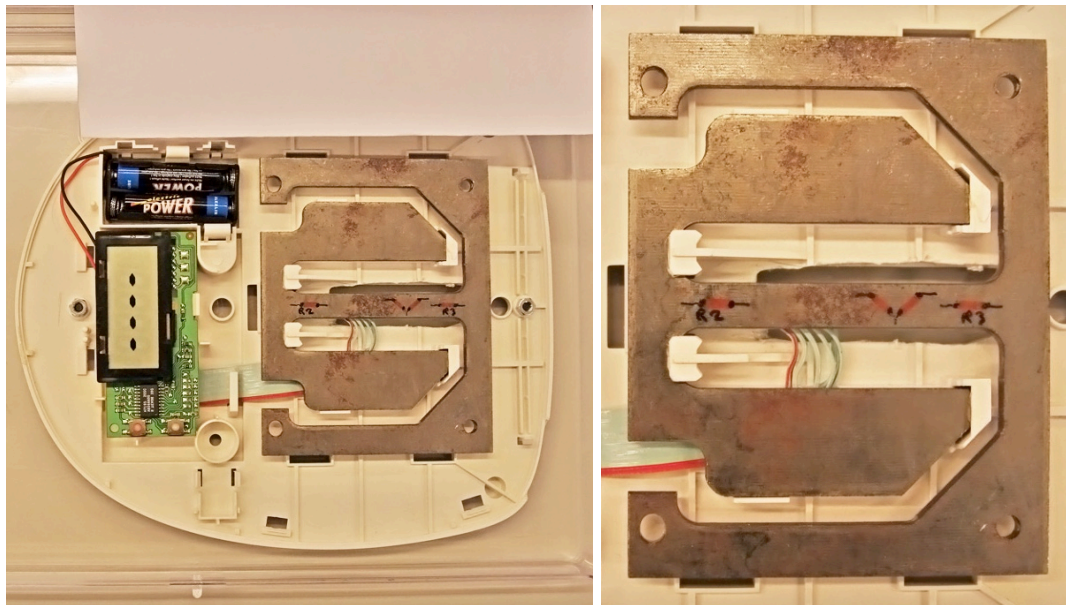


Figure 7. Pèse-personne Tefal, vue d'ensemble (gauche) et cellule de mesure (droite, position approximative des résistances sur l'autre face dessinée sur l'élément)

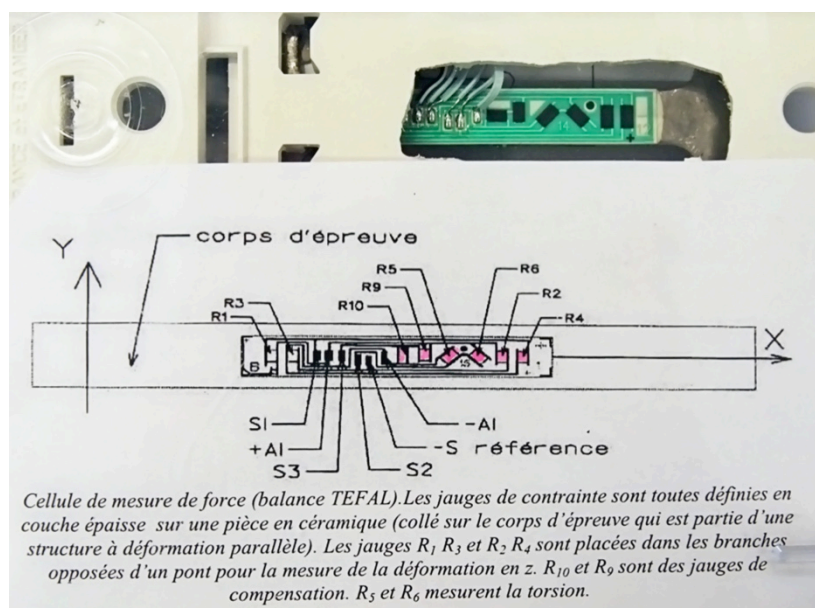


Figure 8. Découpe du fond, révélant le pont de mesure en couches épaisses sur céramique collé sur le corps élastique.